

Institut für Gartenbauwissenschaft

Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin

(Deutsche Zusammenfassung)

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 01.06.2005

von Valens MULINDABIGWI

aus Rutobwe - Gitarama - Rwanda

Referent: Prof. Dr. M.J.J. Janssens
Korreferenten: Prof. Dr. H. Goldbach
Prof. Dr. G. Menz

Tag der mündlichen Prüfung:

Gedruckt bei:

Einfluss von Anbausystemen auf die Landnutzung, Kohlenstoffspeicherung und Ernährungssicherung im oberen Ouémé-Einzugsgebiet in Benin

In der vorliegenden Arbeit werden die Anbausysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet in Benin beschrieben sowie deren Auswirkungen auf die Landnutzung, die Ernährungssicherung und die Kohlenstoff-Sequestration bewertet. Bei den Anbausystemen handelt es sich hauptsächlich um Wanderfeldbau, wo die Aussaaten generell von Mai bis Juli stattfinden. Die Intensivierung der Landwirtschaft ist auf den Baumwollanbau begrenzt. Mit der zunehmenden Bodenknappheit beginnen die Landwirte auch den Maisanbau zu intensivieren. Das Bevölkerungswachstum und die Degradation der Bodenfruchtbarkeit sind die Hauptfaktoren der Entwaldung (2-3% jährlich).

Die naturnahen Vegetationen bleiben die wichtigsten Kohlenstoff-Senken („Forêt dense semi décidue“: $138,5 \text{ t ha}^{-1}$; „Forêt claire“: $71,7 \text{ t ha}^{-1}$ gegenüber 33,8 bis $35,3 \text{ t ha}^{-1}$ für die kultivierten Flächen). Im Gegensatz zu vorangegangenen Studien (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001) wurde kein signifikanter Unterschied in den ersten 20 cm der Bodenhorizonte unter gestörten und naturnahen Ökosystemen hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehaltes im Boden festgestellt. Dieses Ergebnis lässt sich durch die jährlichen Buschfeuer erklären.

Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Flächenerweiterung und die Degradierung der Naturressourcen werden in fünf Phasen aufgeteilt: (i) *ökologisches Gleichgewicht*, (ii) *Zusammenbruch des ökologischen Gleichgewichts*, (iii) *ökologische Degradation*, (iv) *strukturelle Ernährungsunsicherheit*, (v) *Elend und hydrologische Degradation*. Die Landnutzung entlang der Piste „Wari Maro – Doguè“ befindet sich zurzeit in der Phase des Zusammenbruchs des ökologischen Gleichgewichtes, während die Landnutzung in Sérou schon die Phase der ökologischen Degradation erreicht hat. Unter der Annahme, dass es zu einer Verkürzung der Regenzeit von zwei Wochen im Untersuchungsgebiet kommt, könnte sich bis zum Jahr 2020 die landwirtschaftlich genutzte Fläche¹ auf 79,7% (von 36,2% im Jahr 2000) der gesamten nutzbaren Flächen erweitern. Unter Berücksichtigung der Agrarproduktion und des Bevölkerungswachstums können damit 116% (gegenüber 132% im Jahre 2000) des Kalorienbedarfes gedeckt werden. Eine Senkung des Bevölkerungswachstums von 4,9 % auf 3,0 % und eine progressive Intensivierung der Landwirtschaft würden hingegen mit nur 62 % der nutzbaren Flächen die Deckung des Kalorienbedarfs auf 147 % verbessern.

Die Intensivierung der Landwirtschaft setzt die Anwendung verbesserter Technologien voraus. Diese Technologien wurden schon von verschiedenen nationalen und regionalen Forschungsinstitutionen entwickelt. Das Ziel sollte jedoch sein, all diese Technologien zusammenzutragen und sie den Landwirten zur Verfügung zu stellen. Allerdings ist die Intensivierung der Landwirtschaft nicht die einzige Strategie, um eine nachhaltige Landnutzung garantieren zu können. Sie gehört eher zu einer Gesamtheit von Strategien der integrierten Entwicklung des ländlichen Raumes, welche noch weiterhin objektiv zu definieren und zu konkretisieren sind.

¹ Landwirtschaftlich genutzte Fläche = kultivierte Fläche + Brache

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	1
1.1. ZIELE DER ARBEIT.....	1
1.2. ARBEITSHYPOTHESEN.....	1
1.3. METHODE UND ARBEITSAUFBAU.....	2
2. ANALYSE DER ANBAUSYSTEME IM OBEREN OUÉMÉ-EINZUGSGEBIET	3
2.2. KULTURKALENDER UND ERHALTUNG DER BODENFRUCHTBARKEIT.....	5
3. DYNAMIK UND DEGRADATION DER ÖKOSYSTEME.....	6
3.1. BLATTFLÄCHENINDEX.....	6
3.2. PHYTOMASSE.....	8
3.2.1. Nettoprimärproduktion.....	8
3.2.2. Gesamte Phytomasse.....	9
3.3. PRODUKTION UND DYNAMIK DER STREU.....	10
3.3.1. Produktion der Streu.....	10
3.3.2. Streuauftteilung und Schätzung der Nettoprimärproduktion.....	12
3.3.3. Schätzung der Nettoprimärproduktion auf Basis des Streufalls.....	13
3.3.4. Streufall und Vegetationsdynamik.....	16
3.3.5. Umrechnung der Blätterstreu in Blattflächenindex.....	17
3.3.6. Streudynamik.....	18
3.4. BIOVOLUMEN UND ÖKOVOLUMEN.....	20
3.5. SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	23
4. SOZIÖKONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE ENTWICKLUNG DER AGRARFLÄCHEN	23
4.1. PHASE I: ÖKOLOGISCHES GLEICHGEWICHT.....	24
4.2. PHASE II: ZUSAMMENBRUCH DES ÖKOLOGISCHEN GLEICHGEWICHTES.....	25
4.3. PHASE III: ÖKOLOGISCHE DEGRADATION.....	26
4.4. PHASE IV: STRUKTURELLE ERNÄHRUNGSUNSICHERHEIT.....	27
4.5. PHASE V: ELEND UND HYDROLOGISCHE DEGRADATION.....	27
4.6. EINE SCHNELLERE DEGRADATION VON NATURRESSOURCEN IM OBEREN OUÉMÉ	29
5. ANBAUSYSTEME UND SAISONALE NIEDERSCHLAGSVARIABILITÄT	30
6. ERNÄHRUNGSLAGE UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN	30
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	31
7.1. SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	31
7.2. EMPFEHLUNGEN.....	33

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Hauptnutzpflanzen und Mischkulturen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet.....	4
Tab.2: Wesentliche Pflanzenparameter einiger Ökosysteme	7
Tab. 3: Spezifisches Blattgewicht, Kohlenstoff-Sequestration und Wassernutzung der Haupt-Kulturen.....	8

Tab. 4: Gesamtbiomasse der Ökosysteme in Doguè und Sérrou	9
Tab. 5: Produktion und Aufteilung der Streu in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè und Sérrou vom August 2001 bis Juli 2002	13
Tab. 6: Schätzung der Nettoprimärproduktion (NPP) und des Biomassezuwachses (ΔB)	15
Tab. 7: Umwandlung der Blätterstreu in Blattflächenindex	18
Tab. 8: Zersetzung der Streu in verschiedenen Ökosystemen des oberen Ouémé-Einzugsgebietes	19
Tab. 9: Ökovolumen unterschiedlicher Nutzpflanzen des oberen Ouémé-Einzugsgebietes in 2000 und 2020	20
Tab. 10: Biovolumen und Ökovolumen unterschiedlicher Ökosysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet	22
Tab. 11: Charakteristika der verschiedenen Entwicklungsphasen bezüglich der landwirtschaftlichen Flächen und der Degradierung der natürlichen Ressourcen.	29

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Einfluss von Demographie, Anbausystemen und Regenzeit auf Landnutzung, Ernährungssicherung und Kohlenstoff-Sequestration	3
Abb. 2: Kulturkalender im Ouémé-Einzugsgebiet	5
Abb. 3: Fruchtfolgen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet.	6
Abb. 4: Gesamtbiomasse unterschiedlicher Ökosysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet	10
Abb. 5: Entwicklung des Streufalls in unterschiedlichen Ökosystemen in Sérrou	11
Abb. 6: Entwicklung des Streufalls in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè	12
Abb. 7: Produktion und Aufteilung der Streu in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè und Sérrou vom August 2001 bis Juli 2002	13
Abb. 8: Klassifizierung der Vegetationen auf Basis des Streufalls	16
Abb. 9: Ökovolumen der Nutzpflanzen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet	21
Abb. 10: Vorhersage des Ökovolumens für 2020 (Szenario Status quo).	22

1. Einleitung

1.1. Ziele der Arbeit

Um die Ernährungssicherung der zunehmenden Bevölkerung gewährleisten zu können, greifen die Landwirte des oberen Ouémé-Einzugsgebietes auf die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen zurück. Diese Erweiterung erfolgt auf Kosten der begrenzten Naturressourcen und der Kohlenstoff-Sequestration, was eine verstärkte Degradation der Ökosysteme sowie hohe Kohlenstoffemissionen zur Folge hat. Die vorliegende Arbeit beinhaltet die folgenden Hauptziele:

1. Analyse der Anbausysteme und deren Einfluss auf die Landnutzung.
2. Quantitative Bewertung der Kohlenstoff-Sequestration und Kohlenstoff-Emission unterschiedlicher Landnutzungssysteme.
3. Quantitative Bewertung des Beitrages der derzeitigen Anbausysteme auf die Klimaänderung.
4. Analyse der Ernährungslage unter Berücksichtigung des Bevölkerungsdrucks und der saisonalen Niederschlagsvariabilität.
5. Untersuchung der ökologischen Parameter hinsichtlich ihrer Bedeutung bei der Degradationsanalyse der Ökosysteme.

1.2. Arbeitshypothesen

Diesen Zielsetzungen liegen folgende Arbeitshypothesen zugrunde:

1. Die derzeitigen Anbausysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet werden nicht mit verbesserten Technologien ausgestattet, die eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktivität gewährleisten können. Sie sind folglich die Hauptursache der Degradation der Naturressourcen.
2. Aufgrund der Buschfeuer, die sehr häufig geworden sind, wird der Unterschied zwischen den Ökosystemen hinsichtlich ihrer Kohlenstoff-Sequestration nicht vom Kohlenstoff im Boden sondern ausschließlich vom Kohlenstoff in der Biomasse bestimmt.
3. Der Brandrodungswanderfeldbau und die Buschfeuer in oberem Ouémé-Einzugsgebiet setzen viel Kohlenstoff frei und tragen so zur globalen Erwärmung bei.

4. Auch bei zunehmender saisonaler Niederschlagsvariabilität wäre eine intensivierete Landwirtschaft, die durch eine integrierte ländliche Entwicklung unterstützt würde, in der Lage, die Ernährungssicherung einer wachsenden Bevölkerung weiterhin zu garantieren.
5. Die Degradierung von Ökosystemen kann weder lediglich auf Basis des Blattflächenindex noch ausschließlich auf Basis der Nettoprimärproduktion analysiert werden, sondern unter Verwendung der Basalfläche, der Gesamtbiomasse und/oder des Ökovolumens.

1.3. Methode und Arbeitsaufbau

Um die genannten Zielsetzungen erreichen zu können, wurde eine explorative Untersuchung (September - November 2000 und April 2001) in dreizehn Dörfern durchgeführt. Ziele dabei war insbesondere die Sammlung von Informationen über die Kulturen, die verschiedenen Mischkulturen und Fruchtfolgen, die Kulturkalender, die Landnutzung, die Bodenbearbeitung und die saisonale Regenvariabilität. Nach der explorativen Untersuchung wurden weitere Daten durch intensive Untersuchungen in Doguè und Sérou erhoben. Doguè und Sérou stellen jeweils Dörfer mit niedrigem und hohem Bevölkerungsdruck auf das Land dar. Die Landnutzung wurde in vier Nutzungssysteme aufgeteilt:

(i) Naturnahe Vegetation („*Forêt dense semi-décidue*“ halbbimmergrüner Regenwald;
(ii) „*Forêt claire*“ offener Trockenwald), (iii) Brache ; Cashew-Plantagen ;
(iv) kultivierte Fläche

In jedem Landnutzungssystem wurde die Datenerhebung bezüglich der Kohlenstoff-Sequestration (Biomasse, Streufall, Kohlenstoff im Boden) und Kohlenstoff-Emission (Biomasseverbrennung, Bodenatmung), Ernährungssicherung (Anbausysteme, Agrarproduktion, Agrarfläche pro Einwohner) durchgeführt. Die Daten wurden mit STATGRAPHICS Plus 5.1 analysiert und im unten schematisierten Modell (Abb. 1) verwendet. Drei Hauptszenarien sind:

1. Status quo Szenario: Bevölkerungswachstumsrate:4,9%; Anbausysteme bleiben traditionell, keine Verkürzung der Regenzeit.

2. Pessimistisches Szenario: Bevölkerungswachstumsrate: 4,9%; Anbausysteme bleiben traditionell; Verkürzung der Regenzeit um zwei Wochen.
3. Optimistisches Szenario: Bevölkerungswachstumsrate: 3%, progressive Intensivierung der Landwirtschaft; keine Verkürzung der Regenzeit.

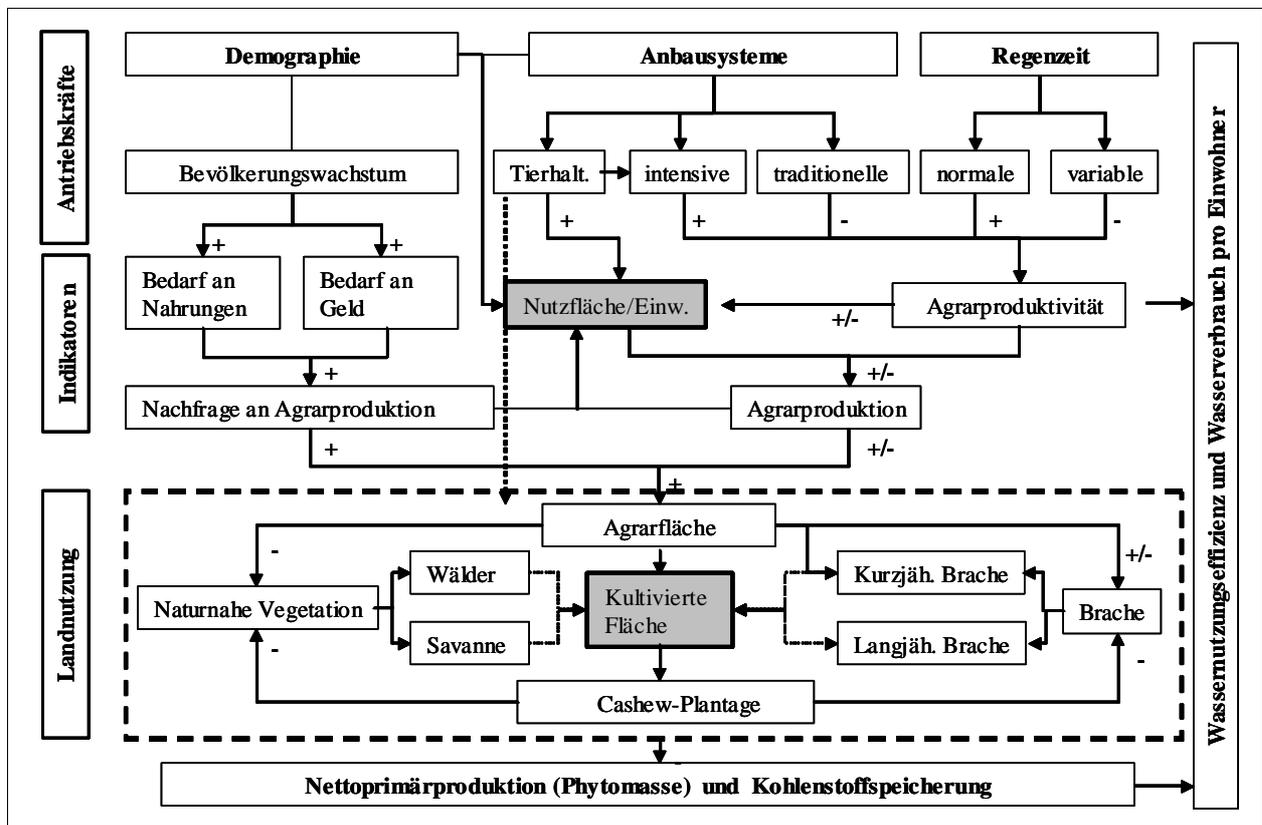


Abb. 1: Einfluss von Demographie, Anbausystemen und Regenzeit auf Landnutzung, Ernährungssicherung und Kohlenstoff-Sequestration.

2. Analyse der Anbausysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet

2.1. Hauptnutzpflanzen und Mischkulturen

Die Anbausysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet bestehen aus einem Gemisch von Nutzpflanzen und Mischkulturen. Die Hauptnutzpflanzen sind Yams, Maniok, Hirse/Sorghum, Mais, Erdnüsse, Bohnen und Baumwolle. Sie werden generell in Mischkulturen angebaut.

Tab. 1: Hauptnutzpflanzen und Mischkulturen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet.

Kommune	Bassila		Djougou		Corpago		N'Dali		Tchaourou	
	Dogué	Bariki	Bodi	Sérou	Wéwé	Wodora	Sonoumon	Sirarou	Tchatchou	Mittelwerte
Anbausysteme										
1. Reinkulture	64	42	79	50	72	86	64	86	75	68,5
Knollenpflanze	17	12	16	9	17	18	14	17	24	15,8
Yam	9	5	7	0	10	11	9	11	13	8,4
Maniok	8	6	9	9	7	5	3	6	11	7,2
Süßkartoffel	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0,2
Getreide	17	6	12	7	25	29	21	24	17	17,6
Sorghum/Hirse	7	2	1	3	9	11	4	2	5	5,0
Reis	2	1	2	4	4	1	1	1	1	2,0
Mais	8	3	9	0	11	16	16	21	11	10,6
Hülsenfrüchte	6	3	2	15	8	8	5	8	5	6,7
Erdnüsse	3	0	1	6	4	3	1	2	3	2,8
Voandzou	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0,5
Bohnen	2	0	1	6	3	2	2	5	2	2,7
Soja	0	3	0	0	0	1	1	1	0	0,7
Baumwolle	18	9	29	9	8	21	23	32	5	17,0
Sonstige Nutzpflanze	7	12	19	11	15	11	1	4	23	11,4
Banane	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
Kurbis	3	0	0	0	6	0	0	0	0	1,0
Gemüse	0	1	1	6	3	3	1	1	2	2,2
Tabak	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0,4
Cashew	3	11	18	4	6	4	0	2	16	7,2
Mango	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0,5
2. Mischkulture	36	54	16	50	28	13	35	15	21	29,9
Getreide + Getreide	16	8	3	3	0	0	10	1	8	5,5
Mais + Sorghum	10	8	3	3	0	0	10	1	8	4,9
Mais + Reis	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
Getreide + Hülsenfrüchte	0	8	4	23	0	1	3	2	3	5,0
Mais + Bohnen	0	0	1	11	0	0	0	0	0	1,3
Mais + Soja	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
Mais + Erdnüsse	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,4
Mais + Sorghum + Bohnen	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Sorgho + arachide	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0,2
Sorghum + Bohnen	0	0	2	13	0	0	3	1	0	2,1
Knollenpflanze + Getreide	8	8	6	18	13	4	0	6	7	7,8
Yam + Reis	8	0	0	2	0	0	0	0	0	1,1
Yam + Sorghum	0	0	0	16	0	0	0	1	0	1,9
Maniok + Sorghum	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2
Maniok + Mais	0	8	2	0	0	4	0	2	7	2,5
Yam + Mais	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2
Maniok + Mais + Sorghum	0	0	0	0	13	0	0	3	0	1,8
Knollenpflanze + Hülsenfrüchte	0	0	0	1	0	0	2	2	3	0,9
Maniok + Voandzou	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,1
Maniok + Bohnen	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0,3
Yam + Bohnen	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0,5
Hülsenfrüchte + Hülsenfrüchte	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5
Voandzou + Erdnüsse	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,1
Erdnüsse + Bohnen	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Knollenpflanze + Knollenpflanze	0	0	3	3	0	0	15	0	0	2,3
Yam + Maniok	0	0	3	3	0	0	15	0	0	2,3
Sonstige Mischkulture	9	31	0	0	15	8	5	3	0	7,9
Yam + Sorghum + Gombo + Bohnen + Reis	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1,0
Yam + Maniok + Gombo	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0,4
Yam + Bohnen + Kurbis	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0,6
Yam + Maniok + Mais + Bohnen	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Yam + Erdnüsse + Voandzou	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0,7
Yam + Mais + Kurbis + Bohnen	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0,6
Maniok + Gombo	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,1
Sorghum + Erdnüsse + Gemüse	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0,7
Sorghum + Kurbis	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
Sorghum + Maniok + Kurbis	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Mais + Kurbis	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Mais + Sorghum + Maniok + Erdnüsse	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0,7
Banane + Gemüse	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0,2
Banane + Tabak	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,1
3. Aufforstung	0	4	5	0	0	1	1	0	3	1,6
Teak (Tectonia grandis)	0	4	5	0	0	1	1	0	3	1,6
Total	100									
4. Obstbäume + Nutzpflanze	11	7	2	6	11	9	4	5	8	7,0
Cashew + sonstige Nutzpflanze	11	5	0	0	6	0	2	2	5	3,4
Mango + sonstige Nutzpflanze	0	1	1	4	3	1	1	1	3	1,7
Karité (Sheabutter-Bäume) + sonstige Nutzpflanze	0	0	0	1	2	4	0	1	0	0,9
"Néré" + sonstige Nutzpflanze	0	0	0	1	0	3	0	1	0	0,6
Zitrus + sonstige Nutzpflanze	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0,4

2.2. Kulturkalender und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

Je nach Nutzpflanze liegt der Aussattermin generell zwischen Mai und Juli (Abb. 2). Die verwendeten Sorten reifen spät, so dass für die Landwirte im Fall einer erhöhten saisonalen Niederschlagsvariabilität und eventuell verkürzter Regenzeit keine sichere landwirtschaftliche Produktion gewährleistet ist.

Zone	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	
Oberes Ouémé-Einzugsgebiet	Buschfeuer							Regenzeit					
	Yam												
				Maniok			Yam						
					Mais								
					Erdnüsse			Mais					
						Sorghum						Sorghum	
						Reis				Reis			
					Cashew								
						Baumwolle						Baumwolle	
						Bohnen			Bohnen				
									Mais			Mais	
									Erdnüsse				
	Mitte des Ouémé	Buschfeuer						Regenzeit					
Yam													
				Maniok			Yam						
					Mais								
					Erdnüsse								
						Sorghum						Sorghum	
							Soja			Soja			
							Reis			Reis			
							Voandzou					Voandzou	
				Bohnen									
						Bohnen						Bohnen	
								Baumwolle				Baumwolle	

Maniok wird ab 18 Monate nach der Pflanzung geerntet

■ Aussaat
■ Ernte

Abb. 2: Kulturkalender im Ouémé-Einzugsgebiet

Die Landwirte im oberen Ouémé-Einzugsgebiet (mit Ausnahme der Fulbe) verwenden i.d.R. keinen organischen Dünger. Das Management der Biomasse wird insbesondere durch das Brennen charakterisiert. Dieses Brennen reduziert die organische Substanz nicht nur auf den kultivierten sondern auch auf den naturnahen Flächen. Im Durchschnitt liegt die Nutzungsdauer einer Parzelle bei 4-5 Jahren, wohingegen die Brache mehr als 7 Jahre dauern kann.

Dörfer	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr	6. Jahr	7. Jahr
Fruchtfolge in Hochouémé							
Sérou	Knollenpflanzen (Yam/Maniok)	Getreide (Mais/Sorghum)	Baumwolle oder Getreide	Erdnuß oder Baumwolle	Baumwolle oder Erdnuß	Mais oder Baumwolle	Mais oder Brache
Sonoumon	Yam	Sorghum, Mais	Baumwolle	Baumwolle	Mais	Bohnen	Brache oder Anacardium
Wodora	Yam	Sorghum, Mais	Baumwolle	Mais oder Baumwolle	Brache (5 Jahre) oder Anacardium		
Bodi	Yam	Mais, Sorghum	Baumwolle	Baumwolle	Baumwolle	Brache oder Anacardium	
Wéwé	Yam	Mais+ Hirse	Maniok+Mais, Hirse	Erdnüsse	Yam	Mais+Hirse	Brache oder Anacardium
Sirarou	Yam	Mais+Sorghum	Baumwolle	Maniok -	Brache oder Anacardium oder		
	Baumwolle	Baumwolle	Mais	Mais -	Brache oder Anacardium		
Bassila	Yam	Mais oder Hirse	Maniok	Erdnüsse	Voandzou	Brache oder Anacardium	
Doguè	Knollenpflanzen (Yam/Maniok)	Maniok oder Getreide+Sesame	Baumwolle oder Getreide (Mais, Sorghum)	Erdnuß oder Getreide (Mais, Sorghum)	Mais	Brache	
Tchatchou	Yam	Mais oder Hirse	Yam	Mais oder Hirse	Brache oder Anacardium		
Fruchtfolge in Mittelouémé							
Adjante	Yam	Mais+Maniok	Baumwolle	Bohnen oder Erdnüsse	Brache oder Anacardium		
Yaoui	Yam	Mais	Maniok+Erdnüsse	Bohnen oder Soja	Mais	Bohnen oder Soja	Brache oder Anacardium
	Baumwolle	Sesame	Baumwolle oder Erdnüsse	Maniok	Brache oder Anacardium		
Ouèdèmè	Yam	Mais+Sorghum	Yam	Erdnüsse oder Baumwolle -	Bohnen	Brache oder Anacardium	
Diho	Yam	Mais	Maniok	Erdnüsse	Brache oder Anacardium		

Abb. 3: Fruchtfolgen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet.

Das dominante Anbausystem ist der Wanderfeldbau mit einer Tendenz zur Brachewechselwirtschaft. Die Erweiterung der Cashew-Plantagen und das Fehlen einer intensivierten Landwirtschaft stellen die Hauptfaktoren der Erweiterung der Agrarflächen und folglich auch der Abholzung dar.

Die Mineraldüngung, Verwendung verbesserter Pflanzensorten, Produktion und Anwendung organischen Düngers sowie Management von Biomasse und Wasser sind u.a. die Technologien, deren Fehlen die niedrige Produktivität verursacht.

3. Dynamik und Degradation der Ökosysteme

3.1. Blattflächenindex

Bei Vernachlässigung der Krautschicht lassen sich die Werte des Blattflächenindex (LAI) in unterschiedlichen Landnutzungssystemen in oberem Ouémé-Einzugsgebiet (Doguè und Sérou) folgendermaßen anordnen:

Forêt dense semi-décidue ; « Cajanus cajan » > Forêt claire, Cultures annuelles > anacardiens, orangiers et les jachères (Tab.2)

Die Ergebnisse zeigen weder zwischen den jährlichen Nutzpflanzen und dem « Forêt claire », noch zwischen den perennierenden Nutzpflanzen (Cashew, Zitrusfrüchte) und der langjährigen Brache signifikante Unterschiede. Die oberirdische holzige Biomasse lässt sich dagegen wie folgt anordnen:

Oberirdische holzige Biomasse: Forêt dense semi-décidue > Forêt claire, Dauerkulturen > Brache > annuelle Nutzpflanze

Tab.2: Wesentliche Pflanzenparameter einiger Ökosysteme

Ökosysteme	Höhe	LAI	NPP	Biomasse	Biovolume
	(cm)	(m ⁻² m ⁻²)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)
Annuelle Nutzpflanze	194,6 ^a	3,7 ^b	9,4 ^b	6,2 ^a	3091,3 ^a
"Cajanus cajan"	270 ^a	14,8 ^c	7 ^{ab}	-	10766,3 ^b
Zitrusfeld	700 ^{bc}	3,3 ^{ab}	4,9 ^{ab}	-	8847 ^b
Cashew-Plantage	633,3 ^c	2,8 ^{ab}	4,3 ^{ab}	23,7 ^b	12046,8 ^b
Brache	513,5 ^b	1,9 ^a	3 ^a	20,6 ^b	10395,1 ^b
Offener Trockenwald	670,2 ^c	4,9 ^b	4,4 ^{ab}	90,9 ^c	-
Halbimmergrüner Regenwald	1244,9 ^d	12,7 ^c	8,3 ^{ab}	177 ^d	26689,3 ^c

LAI: Blattflächenindex NPP: Nettoprimärproduktion

Der Blattflächenindex, der ein wesentlicher Pflanzen-Parameter verschiedener ökologischer Modelle ist (WEBB et al. 1983; WOOPER 1993), gibt allein keine ausreichende Auskunft (CLARK et al. 2001) über die Bewertung der Degradation der Vegetationsbedeckung. Die Blattbiomasse ist nicht nur eine Funktion der Anzahl und Fläche der produzierten Blätter, sondern wird auch vom spezifischen Blattgewicht beeinflusst (REDDY et al. 1995). Für den gleichen Wert des Blattflächenindex (z.B. von 2) kann diese Biomasse von 0,5 t ha⁻¹ für die Bohnen bis 3,0 t ha⁻¹ für den Schibutterbaum variieren. Obwohl die beiden Kulturen mit gleichem Blattflächenindex die gleiche Rolle beim Bodenschutz gegen Erosion spielen können, hängt ihre Rolle im Wasser- und Kohlenstoffkreislauf viel mehr vom spezifischen Blattgewicht ab.

Vernachlässigt man den Unterschied von C3- und C4-Pflanzen hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz, und legt man einfach einen Durchschnitt von 1 mmol CO₂ für 1 mol H₂O und ein Verhältnis von Kohlenstoff zu Biomasse von 0,45 fest, dann variiert die Wassernutzung für einen Blattflächenindex bei 2 von 324 bis 2012 m³ha⁻¹ (entsprechend 32,4 und 201,2 mm) jeweils für Bohnen und den Schibutterbaum.

Tab. 3: Spezifisches Blattgewicht, Kohlenstoff-Sequestration und Wassernutzung der Haupt-Kulturen.

Nutzpflanze	LAI	Pfs	Lf	Kohlenstoff- speicherung	Wasser- verbrauch	
	(m ⁻² m ⁻²)	(mg cm ⁻²)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(m ³)	(mm)
Sorghum	2,0	6,0	1,2	0,54	810	81
Mais	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Bohnen	2,0	2,4	0,5	0,22	324	32
Voandzou	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Erdnüsse	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Maniok	2,0	6,3	1,3	0,57	851	85
Yam 1	2,0	4,9	1,0	0,44	662	66
Yam 2	2,0	4,6	0,9	0,41	621	62
Baumwolle	2,0	3,4	0,7	0,31	459	46
Karité	2,0	14,9	3,0	1,34	2012	201
Cashew	2,0	10,5	2,1	0,95	1418	142

LAI: Blattflächenindex

Pfs: spezifisches Blattgewicht

Lf: Blätterbiomasse

3.2. Phytomasse

Die Phytomasse umfasst sowohl die Biomasse der lebenden Pflanzen als auch die Nekromasse. Die Analyse der Phytomasse basiert auf der Analyse der Nettoprimärproduktion und der gesamten Phytomasse.

3.2.1. Nettoprimärproduktion

Die Nettoprimärproduktion unterschiedlicher Landnutzungssysteme ist deutlich am höchsten für kultivierte Flächen (Tab.2). Allerdings wird ein Teil der Nettoprimärproduktion der kultivierten Flächen als Agrarproduktion oder Ernterückstand entnommen. Ohne die Krautschicht zu berücksichtigen, produzieren die naturnahe Vegetation und Brache eine Biomasse, die sich von der der kultivierten Flächen und der Cashew-Bäume nicht signifikant unterscheidet. (Tab.2). Die

Nettoprimärproduktion ermöglicht also wie der Blattflächenindex allein keine Klassifizierung der Ökosysteme hinsichtlich ihrer Degradation.

3.2.2. Gesamte Phytomasse

Die gesamte Biomasse (bestehend aus holziger Biomasse, Krautschicht und Nutzpflanzen) ist in gestörten Ökosystemen (kultivierte Fläche, Brache, Cashew-Plantagen) niedriger als bei naturnaher Vegetation (Tab. 4). Die oberirdische holzige Biomasse von 90,9 und 182,6 t ha⁻¹ jeweils für den « forêt claire » und « forêt dense semi-décidue » stimmen mit den von MARSCH (1976) in vergleichbaren Ökosystemen in Benin erhaltenen Werten von 96 und 175 t ha⁻¹ überein. Die niedrigsten Werte der Gesamtbiomasse in gestörten Ökosysteme wurden in Sérrou ermittelt und liegen bei 17, 16 und 28 t ha⁻¹ für kultivierte Flächen, Brachen und Cashew-Plantagen. Im Gegensatz zum Blattflächenindex und zur Nettoprimärproduktion ist die Gesamtbiomasse ein wichtiger Parameter für die Bewertung der Degradation von Ökosystemen.

Tab. 4: Gesamtbiomasse der Ökosysteme in Doguè und Sérrou

Ökosysteme	holzige oberirdische Biomasse (t ha ⁻¹)	Rapport Bs/Ba	holzige unterirdische Biomasse (t ha ⁻¹)	Krautschicht (t ha ⁻¹)	Nutzpflanze (t ha ⁻¹)	Gesamt- biomasse (t ha ⁻¹)
Doguè						
Ldw. Nutzfläche	7,6	0,25	1,9	3,3	9,7	22,5
Brache	32,8	0,25	8,2	4,7	0,0	45,7
Cashew-Plantage	27,3	0,27	7,4	3,9	0,0	38,5
"Forêt claire"	90,9	0,20	18,2	0,8	0,0	109,9
Sérrou						
Ldw. Nutzfläche	6,2	0,25	1,6	2,8	6,8	17,4
Brache	8,3	0,25	2,1	5,8	0,0	16,2
Cashew-Plantage	20,1	0,27	5,4	2,8	0,0	28,3
"Forêt d.s. décidue"	182,6	0,13	23,7	0,2	0,0	206,5

Bs: unterirdische Biomasse; Ba: oberirdische Biomasse

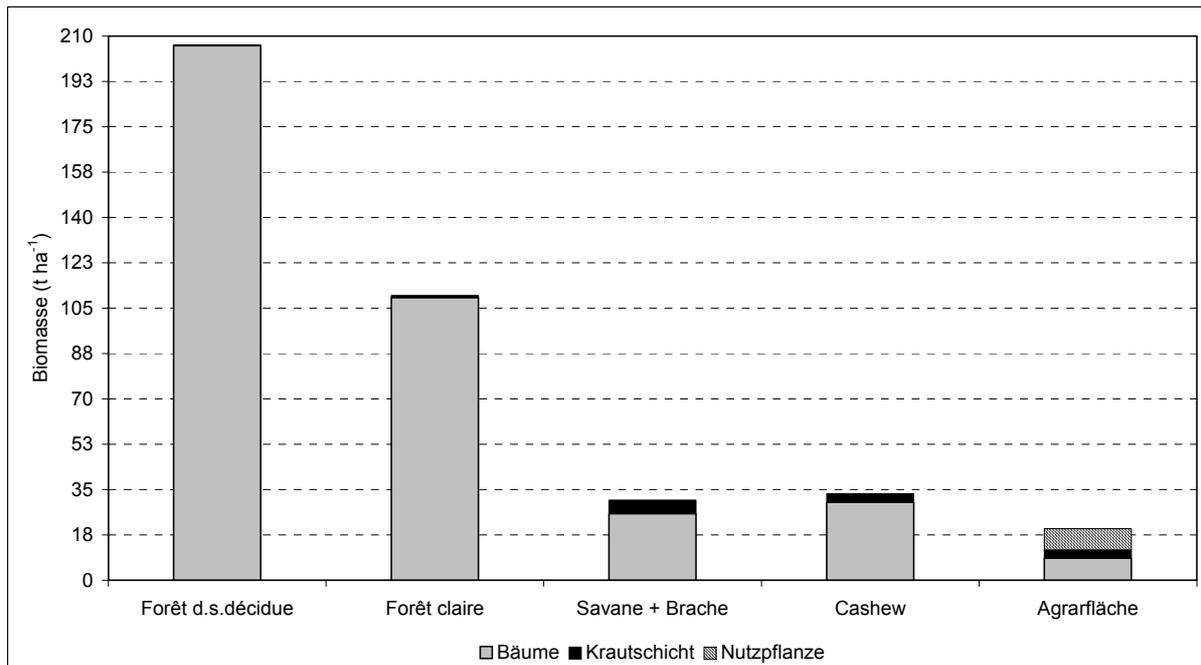


Abb. 4: Gesamtbiomasse unterschiedlicher Ökosysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet.

3.3. Produktion und Dynamik der Streu

3.3.1. Produktion der Streu

Die Produktion der Streu wird vom Wechsel von Regen- und Trockenzeit bestimmt (Abb. 5, Abb. 6). Während der Regenzeit akkumuliert die Pflanze die Biomasse, die sie während der Trockenzeit vollständig oder zum Teil als Streu verliert. Generell kann die Produktionskurve der Streu in vier Phasen aufgeteilt werden:

- *Januar – März* : Phase, in der die Kurve eine Produktionsabnahme der Streu zeigt. Die Produktion der Streu bleibt allerdings im Januar und Februar ziemlich hoch. Im Lauf dieser zwei Monate ist das Bodenwasser-Defizit ebenfalls hoch (JUNGE, 2004).
- *März – Juni* : Phase, die sich durch eine leichte Erhöhung der Streuproduktion charakterisieren lässt. Aufgrund einiger weniger erster Regentage, die allgemein im März auftreten, ermöglicht die erhöhte Wasserverfügbarkeit im Boden die Photosynthese und folglich den Biomassezuwachs besonders der Blattbiomasse.

Diese Blätter überdauern jedoch nicht lange, da die Trockenzeit noch nicht beendet ist.

- *Juni – September*: Phase, in der die Streuproduktion ihre niedrigsten Werte erreicht. Es ist ebenfalls die Phase, in der die Nettoprimärproduktion hoch ist, da das verfügbare Bodenwasser keinen limitierenden Faktor mehr für die Photosynthese darstellt.
- *September – Januar*: Diese Phase wird durch eine höhere Streuproduktion charakterisiert (50% bis 75% der im gesamten Jahr produzierten Streu). Aufgrund niedriger Bodenwassergehalte sowie hoher Temperaturen verringern sich die Photosynthese und folglich auch die Nettoprimärproduktion. Die produzierte Streu wird oft durch die Buschfeuer zerstört, die vor allem vom Dezember bis Februar gelegt werden.

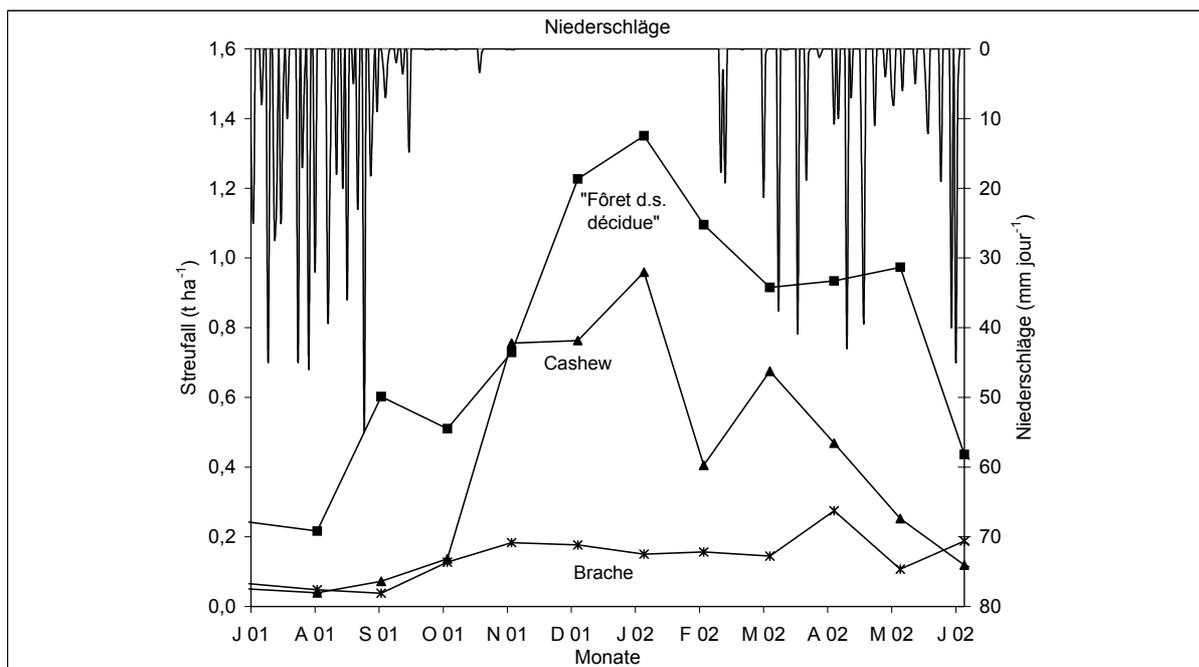


Abb. 5: Entwicklung des Streufalls in unterschiedlichen Ökosystemen in Sérrou

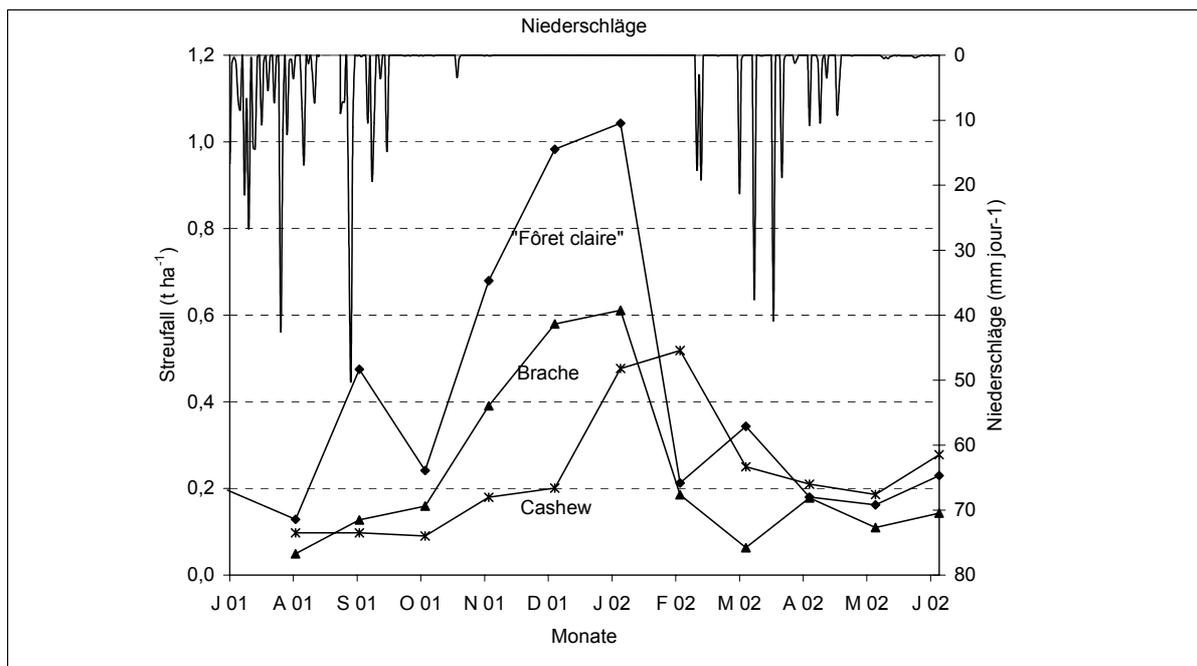


Abb. 6: Entwicklung des Streufalls in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè

3.3.2. Streuaufteilung und Schätzung der Nettoprimärproduktion

Die Aufteilung der produzierten Streu in Blätter und Zweige spiegelt die Nettoprimärproduktion und den Biomassezuwachs wieder (WEBB et al. 1983; ZHONG et al. 2002; CLARK et al. 2001). Jedoch wird die genaue Bestimmung des Zweigfalls oft vermieden, da ein Teil ihrer Trockenmasse bereits vor dem Fall zersetzt wird (CLARK et al. 2001). Obwohl der Zweigfall durch externe Faktoren (insbesondere den Wind) beeinflusst wird (MOSANGO, 1991; CLARK et al. 2001), liefert er wichtige Auskünfte über die Vegetationsdynamik. Je höher der Anteil der Zweige in der Gesamtstreu ist, desto älter ist die Vegetation. Von den im Folgenden vorgestellten Landnutzungssystemen (Tab. 5) verfügt der « forêt dense semi-décidue » in Sérôu über den höchsten Prozentsatz der Zweige in der Gesamtstreu. Dieser Wald steht in der Phase der Degeneration – Regeneration, die sich durch eine zunehmende Anzahl toter Bäume und neuer Keimlinge charakterisieren lässt.

Tab. 5: Produktion und Aufteilung der Streu in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè und Sérou vom August 2001 bis Juli 2002

Dörfer	Ökosysteme	Gesamtstreu		Blätter		Zweige		Blüte/Früchte		Sonstiges	
		(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	
Sérou	Forêt d.s. décidue	9,0	6,3	70	1,8	20	0,4	4	0,5	6	
	Brache	1,7	1,6	94	0,1	6	0,0	0	0,0	0	
	Cashew	4,5	3,9	85	0,2	4	0,5	11	0,0	0	
Doguè	Forêt claire	4,1	3,2	78	0,7	16	0,2	6	0,0	0	
	Brache	3,0	2,5	83	0,3	10	0,2	7	0,0	0	
	Cashew	2,6	1,9	73	0,4	16	0,3	11	0,0	0	
	Zitrus	3,8	3,4	91	0,3	7	0,1	2	0,0	0	
	Cajanus cajan	6,3	5,4	86	0,4	6	0,5	8	0,0	0	

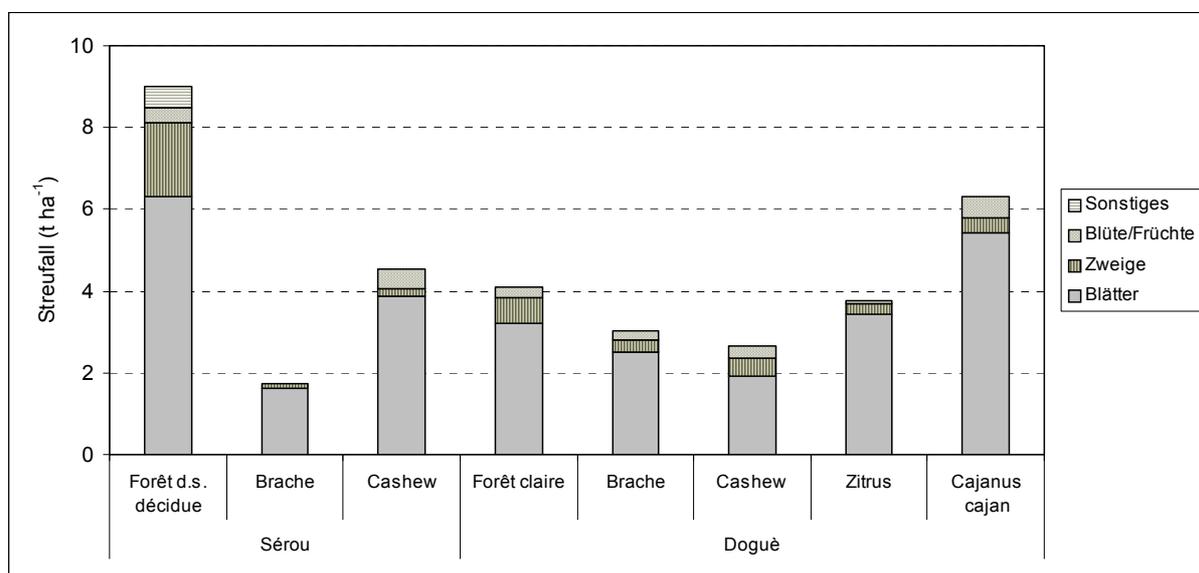


Abb. 7: Produktion und Aufteilung der Streu in unterschiedlichen Ökosystemen in Doguè und Sérou vom August 2001 bis Juli 2002

3.3.3. Schätzung der Nettoprimärproduktion auf Basis des Streufalls

Die Berechnung der Nettoprimärproduktion auf Basis der Gleichungen von WEBB et al. (1983) und ZHONG et al. (2002) zeigen die höchsten Werte für den Wald in Sérou (860 g m⁻² a⁻¹) und Cashew-Plantagen in Sérou (545 g m⁻² a⁻¹) (Tab. 6.). Das Verhältnis von Nettoprimärproduktion zu oberirdischer holziger Biomasse von 0,05 für den offenen Trockenwald „forêt claire“ in Doguè und den „forêt dense semi-décidue“ in Sérou entspricht dem Prozentsatz 6%, der auch in einem Sekundarwald in der Demokratischen Republik Kongo von MOSANGO (1991) gefunden wurde.

Zieht man von der Nettoprimärproduktion den Streufall ab, verfügt der Sérrou-Wald über eine Verlustbilanz von $42 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Die Nettoprimärproduktion der Cashew-Bäume ($286 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in Doguè und $545 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in Sérrou) wird größtenteils durch die Produktion der Früchte gebildet, die auf $100\text{-}200 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ geschätzt wird.

Wird die Biomasse der Krautschicht in die Berechnung einbezogen, erreichen die kultivierten Flächen eine höhere Nettoprimärproduktion (1409 und $1050 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ jeweils in Doguè und in Sérrou) als alle anderen Ökosysteme (Tab. 6). Jedoch wird ein großer Teil der Nettoprimärproduktion als Agrarproduktion oder Ernterückstand aus der Parzelle entnommen oder gebrannt.

Tab. 6: Schätzung der Nettoprimärproduktion (NPP) und des Biomassezuwachses (ΔB)

Ökosysteme	Oberirdische holzige Phytomasse					L_T/B_T	NPP/ B_T	NPP/ L_t	Kraut- schicht	Nutz- pflanze	NPP $_T$
	B_T	L_t	L_f	NPP	ΔB						
	(g m ⁻²)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)						
Sérou											
Forêt d. semi décidue	18260	902	631	860	-42	0,05	0,05	0,95	20	0	880
Brache	830	172	161	242	70	0,21	0,29	1,41	582	0	824
Cashew	2010	455	387	545	90	0,23	0,27	1,20	276	0	821
Agrarfläche	620	62	56	90	28	0,10	0,15	1,45	280	680	1050
Doguè											
Forêt claire	9090	410	320	457	47	0,05	0,05	1,11	80	0	537
Brache	3280	302	251	364	62	0,09	0,11	1,21	470	0	834
Cashew	2730	265	193	286	21	0,10	0,10	1,08	385	0	671
Agrarfläche	760	76	68	109	33	0,10	0,14	1,43	330	970	1409
B $_T$: oberirdische Gesamtbiomasse											
L $_t$: Streufall											
L $_f$: Blätterstreu											
ln (NPP) = 0,76 + 0,93 * ln (Blätterbiomasse) (WEBB <i>et al.</i> 1983)											
NPP = ΔB + L $_t$ (ZHONG <i>et al.</i> 2002)											
NPP: oberirdische holzige Nettoprimärproduktion											
ΔB : oberirdischer Biomasszuwachs (ohne Krautschicht)											
NPP $_T$ = NPP + Nutzpflanze + Krautschicht											

3.3.4. Streufall und Vegetationsdynamik

Der Streufall kann zur schnellen und nicht aufwendigen Schätzung der Nettoprimärproduktion sowie der Vegetationsdynamik herangezogen werden. Auf Grundlage des Streufalls (L_t), des Blattfalls (L_f), der Nettoprimärproduktion (NPP) und des Biomassezuwachses (ΔB), können folgende drei Hauptphasen der Vegetationsentwicklung beschrieben werden:

Phase des Biomassezuwachses

Der Streufall (L_t) ist signifikant niedriger als die Nettoprimärproduktion (NPP). Der Zweigfall besetzt niedrige Anteile in der Gesamtstreu. Die jährliche Zunahme der Biomasse (ΔB) ist positiv.

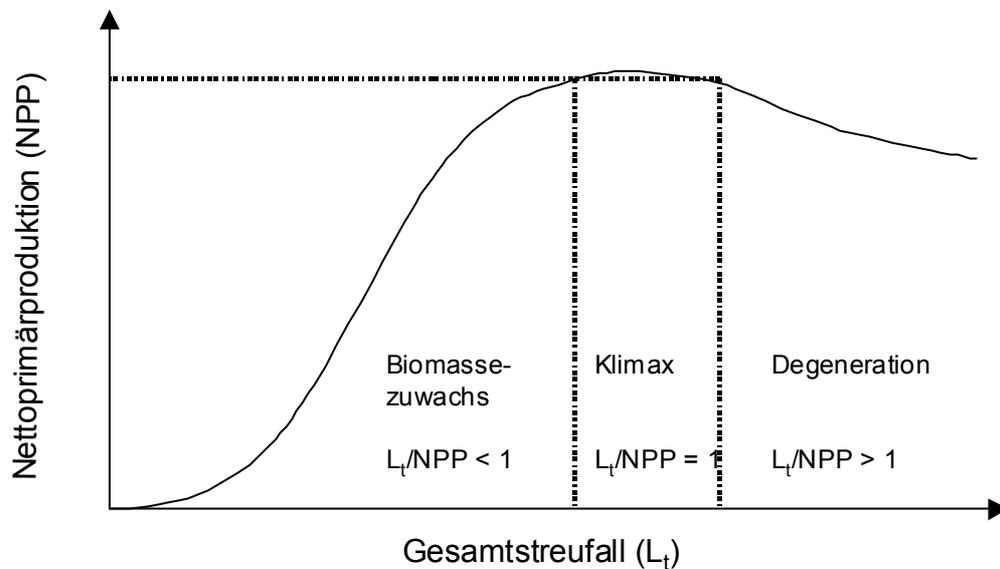
Phase des Gleichgewichts

Dieser Phase entspricht unter natürlichen Bedingungen das Klimax-Stadium. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Gesamtstreufall (L_t) und der Nettoprimärproduktion (NPP). Der Anteil der Zweige in der Gesamtstreu ist höher als in der Phase des Biomassezuwachses. Der Biomassezuwachs (ΔB) unterscheidet sich nicht signifikant von Null.

Phase der Degeneration

Der Gesamtstreufall (L_t) überschreitet die Nettoprimärproduktion (NPP). Der Anteil der Zweige in der Gesamtstreu ist höher als in der Phase des Gleichgewichts. Der Biomassezuwachs (ΔB) ist negativ. Unter natürlichen Rahmenbedingungen wird diese Phase von einer Degeneration und Regeneration der Vegetation charakterisiert. Allerdings ermöglichen die toten Bäume eine Kolonisierung neuer Keimlinge, die zur Verjüngung und Erhaltung der Vegetation beitragen.

Abb. 8: Klassifizierung der Vegetationen auf Basis des Streufalls.



3.3.5. Umrechnung der Blätterstreu in Blattflächenindex

Um die Blätterstreu am Boden in verschiedene ökologische Modelleinsätze leichter einbeziehen zu können, wurde ihre Masse durch folgende Beziehung in den

Blattflächenindex umgerechnet: $LAI_L = 10 * \frac{L_{sf}}{P_{fs}}$

mit

LAI_L : Blattflächenindex des Streuen am Boden ($m^2 m^{-2}$),

L_{sf} : Blätterstreu am Boden ($t ha^{-1}$)

P_{fs} : Spezifisches Blättergewicht ($mg cm^{-2}$).

Die höchsten Werte des Blattflächenindex der Streu am Boden wurden im „Fôret dense semi-décidue“ in Sérou ($LAI = 9,6$), in Cashew-Plantagen ($2,6 - 3,8$) und in der Parzelle der „Cajanus cajan“ ($2,9$) ermittelt.

Tab. 7: Umwandlung der Blätterstreu in Blattflächenindex

Ökosysteme	L_{sf}	P_{fs}	LAI
	(t ha ⁻¹)	(mg cm ⁻²)	(m ² m ⁻²)
Sérou			
Forêt d.s. décidue	4,6	4,8	9,6
Brache	0,3	10,5	0,3
Cashew	4,0	10,5	3,8
Doguè			
Forêt claire	0,5	6,3	0,8
Brache	0,8	10,5	0,8
Cashew	2,7	10,5	2,6
Zitrusfrüchte	0,7	10,5	0,7
Cajanus cajan	1,0	3,4	2,9

L_{sf} : Blätterstreu am Boden (t ha⁻¹)
 P_{fs} : spezifisches Blattgewicht (mg cm⁻²)

3.3.6. Streudynamik

Die Streudynamik wird auf Basis der Gleichungen von JENNY *et al.* (1949) und d'OLSON (1963) analysiert:

$$k_{Jenny} = L_t / (L_t + L_s)$$

$$k_{Olson} = L_t / L_s$$

Darin sind:

k : Zersetzungskoeffizient der Streu,

L_t : Streufall (t ha⁻¹a⁻¹) und

L_s : Streu am Boden (t ha⁻¹a⁻¹).

Die Geschwindigkeit der Streuzersetzung nimmt mit folgender Reihenfolge ab:

*Zersetzung der Streu: „Forêt claire“ > kultivierte Fläche > „Cajanus cajan“ > Brache
> Zitrus > „Forêt dense semi-décidue“ > Cashew-Plantagen*

Nach den Ergebnissen von MOSANGO (1991) scheint der k -Koeffizient von OLSON mit der Entwicklung eines Ökosystem zum Klimax-Stadium abzunehmen (langjährige Brache: 5,8 und primärer Wald: 3,2). Der Wald, „Fôret dense semi-décidue“, von Sérou könnte somit als das am weitesten entwickelte Ökosystem der untersuchten Ökosysteme angesehen werden. Die langsame Zersetzung der Streu im Wald von Sérou erklärt sich einerseits durch den hohen Anteil der Zweige in der

Streu, da Zweige langsam zersetzt werden (JUNGE, 2004). Andererseits spielt die mächtige Streuschicht am Boden eine wichtige Rolle, deren oberer Teil nicht in direkten Kontakt mit dem Boden steht und deswegen ebenfalls langsam zersetzt wird (SANKARAN et al. 1993). Die langsame Zersetzung der Streu in den Cashew-Plantagen ist besonders auf die Anwesenheit von „*Imperata cylindrica*“ zurückzuführen. *Imperata cylindrica* nimmt viel Wasser aus der oberen Bodenschicht auf und bildet oft eine Schicht zwischen dem Boden und der Streu. Da die Blätter von *Imperata cylindrica* reich an Lignin sind (HARTEMINK & O’SUULLIVAN, 2001), werden sie ebenfalls langsam zersetzt (PRESCOTT et al. 2004), was wiederum die Zersetzung der ganzen Streu verlangsamt.

Der k-Koeffizient von OLSON für den Sérrou-Wald (1,4) ist vergleichbar mit den Werten, die im Süden Benins (1,4) im gleichen Waldtyp (SOKPON, 1995) und in Kamerun (1,7) durch SONWA (2004) ermittelt wurden. Er liegt aber unter den Werten 2,2 und 4,5, die jeweils für einen feuchten dichten Wald in Nigeria (MADGE, 1965) und einen sekundären Wald in der Demokratischen Republik Kongo (MOSANGO, 1991) abgeleitet wurden. Der besondere Unterschied zum k-Wert von MOSANGO (1991) erklärt sich durch die Menge und jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge (1800 mm a⁻¹ in zwei Regenzeiten auf den Mosango-Standorten gegenüber nur 1000 mm a⁻¹ in einer unimodalen Regenzeit in Doguè und Sérrou).

Tab. 8: Zersetzung der Streu in verschiedenen Ökosystemen des oberen Ouémé-Einzugsgebietes

Ökosysteme	L _s	L _t	k _{Olson} = Lt/Ls	K _{Jenny} = Lt/(Lt+Ls)	P _{Jenny} = k x Lt
	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)			
Sérrou					
Forêt d.s. décidue	6,229	9,020	1,4	0,59	5,335
Brache	0,957	1,716	1,8	0,64	1,102
Cashew	4,890	4,549	0,9	0,48	2,192
Doguè					
Forêt claire	1,095	4,099	3,7	0,79	3,235
Brache	1,244	3,019	2,4	0,71	2,138
Cashew	3,500	2,649	0,8	0,43	1,141
Zitrusfrüchte	1,717	3,782	2,2	0,69	2,601
Cajanus cajan	3,263	6,299	1,9	0,66	4,149
L _s : Streufall in 2001		k: Zersetzungskoeffizient			
L _t : Streufall		P: zersetzter Streu			

3.4. Biovolumen und Ökovolumen

Das Ökovolumen² der Hauptnutzpflanzen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet liegt zwischen 3400 m³ ha⁻¹ (Hülsenfrüchte: Erdnüsse, Bohnen, Voandzou) und 32000 m³ ha⁻¹ (Hirse) (Tab. 9, Abb. 9). Betrachtet man die Flächen aller Nutzpflanzen, so lag im Jahr 2000 das durchschnittliche Ökovolumen der kultivierten Flächen im oberen Ouémé-Gebiet bei 17601 m³ ha⁻¹. Im Falle des Szenarios Status quo wird sich das Ökovolumen wegen der Erweiterung des Maisanbaus leicht auf 18520 m³ ha⁻¹ in 2020 steigern lassen.

Tab. 9: Ökovolumen unterschiedlicher Nutzpflanzen des oberen Ouémé-Einzugsgebiets in 2000 und 2020

Anbausysteme	Fläche		Ökovolumen (m ³ ha ⁻¹)	ausgeglichene Ökovolumen (Flächen)	
	Einheit	(%)		(%)	(m ³ ha ⁻¹)
Jahr	2000	2020	2000	2000	2020
Yam	17	8	4500	765	360
Maniok	14	14	23000	3220	3220
Sorghum	10	9	32000	3200	2880
Mais	14	28	21000	2940	5880
Sorghum + Mais	6	7	32000	1920	2240
Reis	2	2	13500	270	270
Hülsenfrüchte	7	7	3400	238	238
Baumwolle	17	21	12000	2040	2520
Zitrusfrüchte	0	0	70000	0	0
Cajanus Cajan	0	0	27000	0	0
Sonstiges	13	4	23840	3099	954
Summe	100	100		17692	18562

² $V_{\text{öko}} = S \cdot d$ wobei S = Fläche und d = Vegetationshöhe (JANSSENS *et al.* 2004)

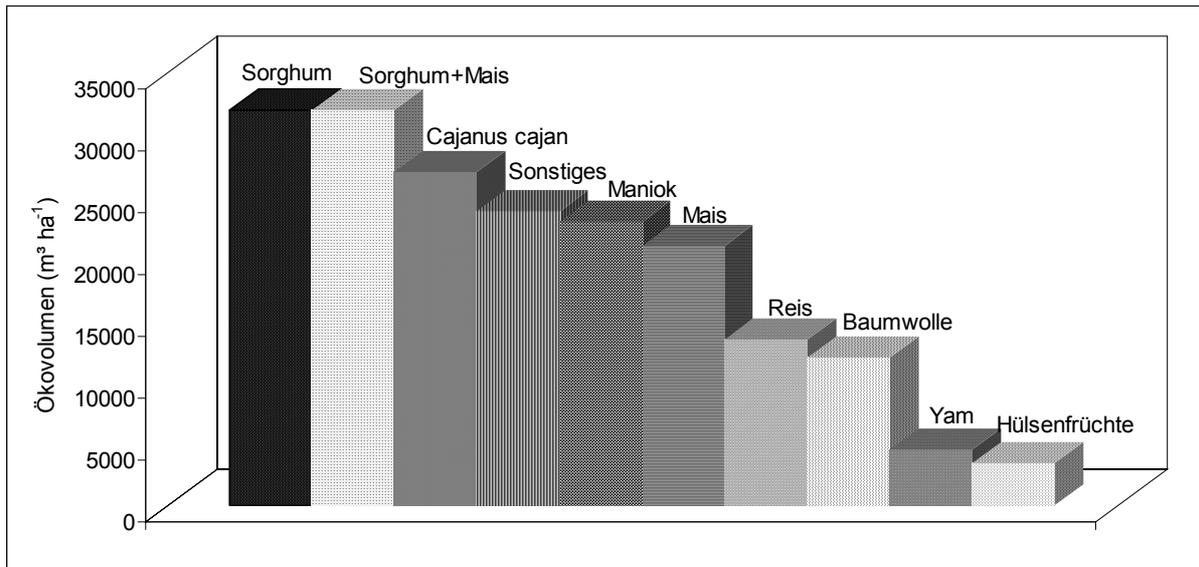


Abb. 9: Ökovolumen der Nutzpflanzen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet

Die naturnahe Vegetation weist die höchsten Werte sowohl des Ökovolumens als auch des Biovolumens³ im Vergleich zu allen anderen Ökosystemen auf (Tab. 10).

Biovolumen: « halbbimmergrüner Regenwälder » > « Offener Tropenwälder » > Cashew-Plantagen > langjährige Brache + Savannen > annuelle Nutzpflanze + kurzfristige Brache

Ökovolumen: « halbbimmergrüner Regenwälder » > « Offener Tropenwälder » > langjährige Brache + Savannen > Cashew-Plantagen > annuelle Nutzpflanze + kurzfristige Brache

³ Biovolumen = Vegetationshöhe * Deckungsgrade der Vegetation (SINSIN, 1993; LEJOLY & SINSIN, 1991)

Tab. 10: Biovolumen und Ökovolumen unterschiedlicher Ökosysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet

Ökosysteme	Fläche		Biovolumen (m ³ ha ⁻¹)	Ökovolumen (m ³ ha ⁻¹)	ausgeglichenes Biovolumen		ausgeglichenes Ökovolumen		
	Einheit	(%)			(%)	(m ³ ha ⁻¹)			
	Jahr	2000	2020	2000	2000	2020	2000	2020	
halbimmergrüner Regenwald		8	3	26689	292308	2135	721	23385	7892
offener Trockenwald		23	8	18542	248385	4265	1446	57128	19374
Brache + Savannen		27	1	10395	91769	2848	104	25145	918
Cashew-Plantagen		5	12	12047	63333	638	1422	3357	7473
Annuelle Nutzpflanze + kurzjährige Brache		36	77	3091	17601	1119	2371	6371	14205
Summe		100	100			11006	6063	115386	49862
halbimmergrüner Regenwald: Forêts denses semi décidues + Forêts de galerie									

Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der unterschiedlichen Ökosysteme lagen das Biovolumen und Ökovolumen des oberen Ouémé-Einzugsgebiets bei 11006 (Biovolumen) bzw. 115386 m³ ha⁻¹ (Ökovolumen) im Jahr 2000. Im Falle des Szenarios Status quo nimmt das Biovolumen auf 6063 m³ ha⁻¹ (Rückgang um 45%) und das Ökovolumen auf 49862 m³ ha⁻¹ (Rückgang um 57%) ab (Tab. 10, Abb. 10).

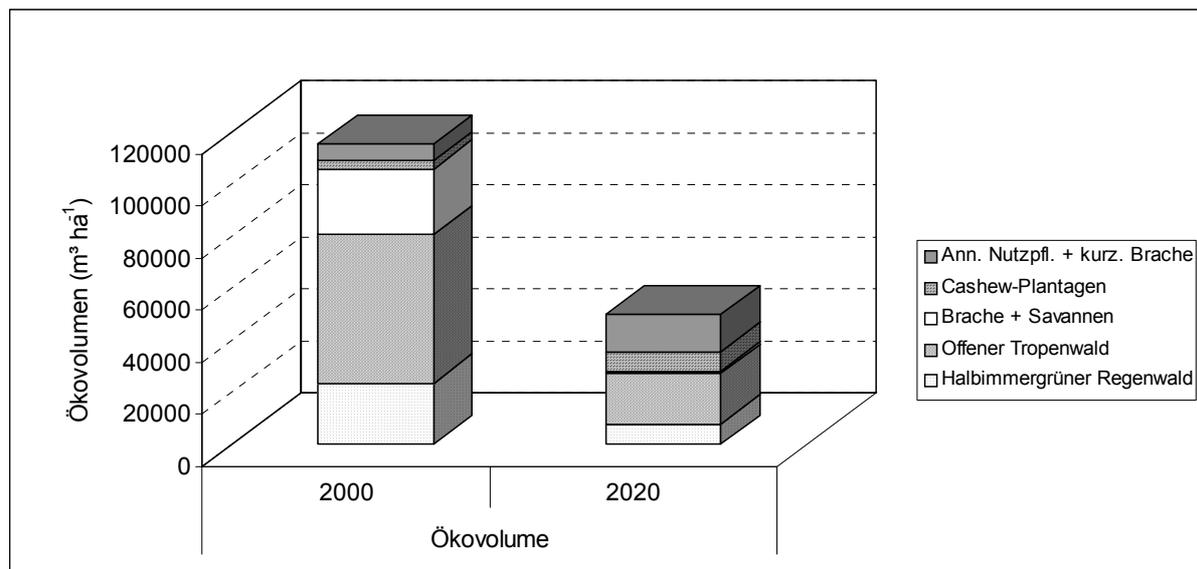


Abb. 10: Vorhersage des Ökovolumens für 2020 (Szenario Status quo).

3.5. Schlussfolgerungen

Der Blattflächenindex (LAI) sowie die Nettoprimärproduktion (NPP) allein ermöglichen keine exakte Abschätzung der Degradation von Ökosystemen. Im Gegensatz dazu kann unter Verwendung der Gesamtbiomasse, des Ökovolumens und des Biovolumens ein deutlicher Gradient bezüglich der Degradierung von Ökosystemen beobachtet werden. Zusätzlich lässt sich der Streufall als wichtiger pflanzlicher Parameter ebenso erfolgreich zur Bewertung der Degradation und Dynamik von Ökosystemen verwenden.

4. Soziökonomische und ökologische Entwicklung der Agrarflächen

Auf der Grundlage der Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche (MALASSIS, 1975) und der Degradierung der natürlichen Ressourcen in Ruanda (MULINDABIGWI, 1997) in Abhängigkeit des Bevölkerungswachstums und auf Basis der Klassifizierung der Anbausysteme (RUTHENBERG, 1980) sowie der derzeitigen Anbausysteme im Einzugsgebiet des oberen Ouémé (IMPETUS Westafrikaprojekt, 2001), wurden fünf Entwicklungsphasen der landwirtschaftlichen Flächen und der Degradierung der natürlichen Ressourcen identifiziert (Abb. 1 , Tab. 1). Die Identifizierung und Definition dieser Phasen (I-Ökologisches Gleichgewicht, II-Zusammenbruch des ökologischen Gleichgewichtes, III-Ökologische Degradierung, IV-Strukturelle Ernährungsunsicherheit, V-Elend und hydrologische Degradation) ermöglichen es nicht nur, die flächenbezogene Erweiterung landwirtschaftlicher Flächen zu klassifizieren, sondern auch die ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen zu verdeutlichen, die mit der verschwenderischen Nutzung der Naturressourcen verbunden sind.

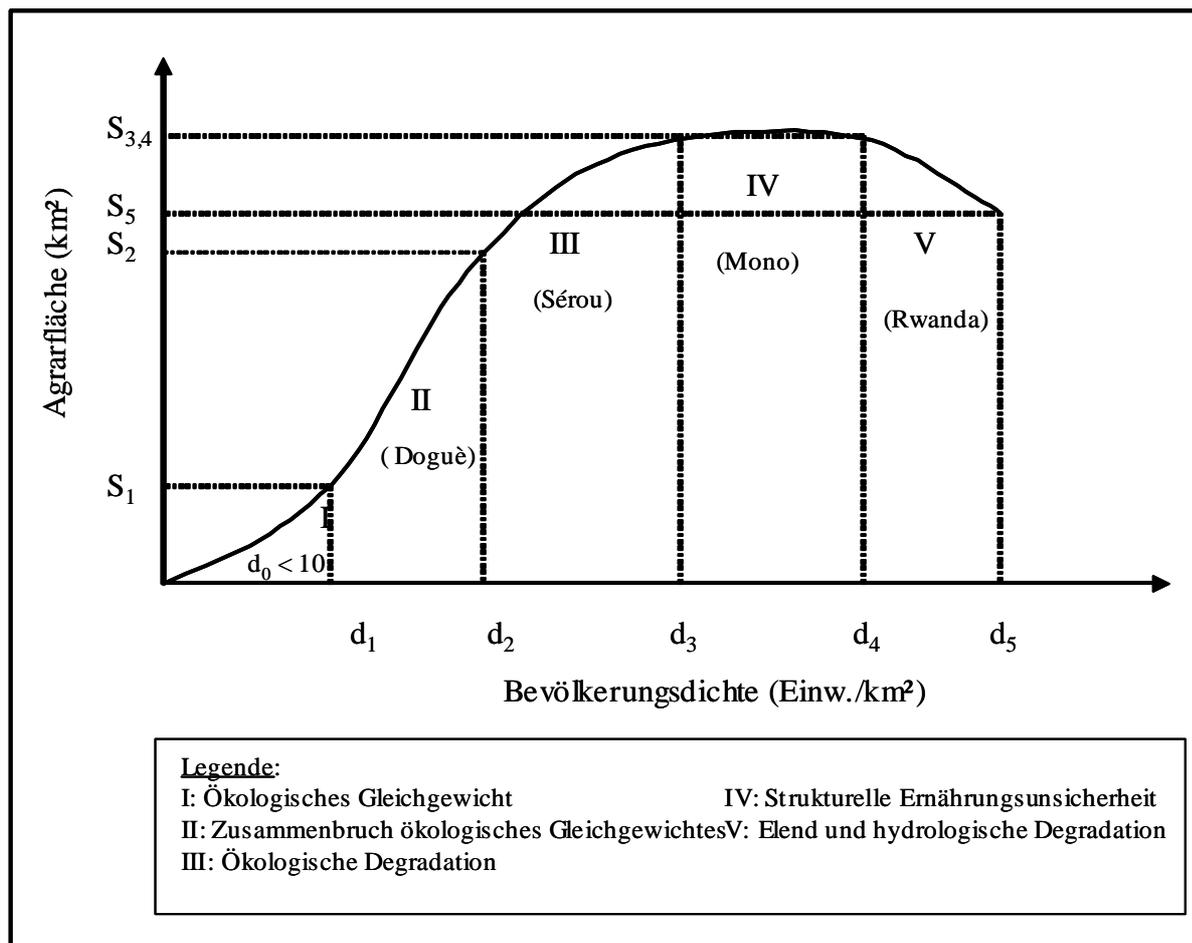


Abb. 12: Entwicklungsphasen der landwirtschaftlichen Flächenerweiterung und die damit verbundene Degradation von Naturressourcen.

Die Bevölkerungsdichten (d_1, \dots, d_5), die diese Phasen begrenzen, unterscheiden sich von einer Region zur anderen. Je größer/kleiner die Anbaufläche pro Einwohner ist (z.B. in Abhängigkeit der saisonalen Niederschlagsmenge und -verteilung; unimodaler oder bimodaler Regenzeit), desto früher/später beginnen diese Phasen.

4.1. Phase I: Ökologisches Gleichgewicht

Die Phase des ökologischen Gleichgewichtes wird hier als optimaler, stabiler ökologischer Zustand definiert. Deshalb ist sie vom Klimax-Stadium zu unterscheiden, das ebenfalls ein optimaler Zustand eines ökologischen Gleichgewichtes darstellt, aber ohne menschlichen Einfluss ist. Es handelt sich um

eine Phase, in der die Bevölkerungsdichte immer noch sehr gering ist (<10 Einwohner pro km²). Die Anbausysteme sind Wanderfeldbausysteme. Die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen geht langsam vonstatten und wird hauptsächlich durch die Rodung von natürlichen Flächen vorangetrieben. Die Degradation der Naturressourcen ist gering, da die lange Dauer der Brachen die Regenerierung der Bodenfruchtbarkeit und die teilweise neue Bildung der Vegetation ermöglicht. Die Buschfeuer haben eine geringe Bedeutung, da sie sich nur flächenbegrenzt ausbreiten. Der Landbesitz ist in kollektiver Hand, und der Zugang zur Landnutzung ist unbegrenzt. Von daher sind Konflikte um Land selten, und es besteht weder Landflucht noch Auswanderung. Die Feldarbeiten werden im Wesentlichen von den Männern durchgeführt und die Felder befinden sich weit von den Behausungen entfernt. Die Agrarproduktion ist ausreichend für den direkten Verbrauch und auch für die Anlage von Vorräten. Im oberen Ouémé-Einzugsgebiet stellt die einzige Bassila-Kommune, mit einer Bevölkerungsdichte von 13 Einwohnern km⁻², diese Phase dar.

4.2. Phase II: Zusammenbruch des ökologischen Gleichgewichtes

Im Verlauf dieser Phase schreitet die Ausdehnung der gesamten landwirtschaftlichen Flächen schnell voran und wird durch die Rodung von natürlichen Flächen und die Nutzung von ehemals langfristigen Brachen vorangetrieben. Wanderfeldbausysteme als wichtigste Anbausysteme wurden zu überwiegenden Teilen durch die Brachewechselwirtschaft ersetzt. Die Degradation von Naturressourcen wird in diesem Stadium hinsichtlich der Vegetationsdeckung bedeutend und zeichnet sich unter anderem durch eine Verminderung der existierenden Phytomasse aus. Die Bodendegradation wird von der ausreichenden Dauer der Brachezeiten stark gebremst. Jedoch kommen Buschfeuer im Verlauf dieser Phase sehr häufig vor und reduzieren dementsprechend die Akkumulation der organischen Substanz im Boden. Das nicht klar eingegrenzte Bodenrecht ist in kollektiver Hand. Die Bewirtschaftung des Landes ist bestimmten Regeln und Einschränkungen unterworfen. Landkonflikte treten insbesondere bezüglich der Landgrenzen zwischen Gemeinschaften bzw. Dörfern auf. Die Rolle der Männer in der Durchführung der Feldarbeiten bleibt weiterhin sehr bedeutend. Die Felder befinden sich immer näher an den Siedlungen. Abgesehen von einer möglicherweise starken Niederschlagsvariabilität bleibt die

Agrarproduktion immer noch ausreichend für den direkten Verbrauch und das Anlegen von Vorräten. Hungersnöte sind selten und konjunkturell bedingt. Landflucht und die Auswanderung sind unbedeutend. Im Einzugsgebiet des oberen Ouémé spiegelt die momentane Entwicklung der landwirtschaftlichen Flächen entlang der Piste Wari Maro – Doguè diese Phase des Zusammenbruchs des ökologischen Gleichgewichtes wider.

4.3. Phase III: Ökologische Degradation

Während dieser Phase verschwindet die natürliche Vegetation, die nicht streng geschützt wird. Die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen verlangsamt sich und wird hauptsächlich durch den Umbruch von Weiden, die Nutzung langjähriger Brachen sowie die Rodung von den letzten Gebieten mit natürlicher Vegetation erreicht. Die bis dahin von langjährigen Brachen charakterisierten Anbausysteme weichen immer mehr dem permanenten Ackerbau. Die Degradation der natürlichen Ressourcen beschränkt sich nicht mehr nur auf die Vegetationsdeckung sondern betrifft auch die Bodenfruchtbarkeit. Die biologische Degradierung des Bodens ist schon weit vorangeschritten, während seine chemische Degradierung sich hauptsächlich durch die Verminderung der organischen Substanz auszeichnet und die physikalische Degradierung besonders durch eine beginnende Bodenerosion charakterisiert werden kann. Die Buschfeuer verlieren an Bedeutung im Vergleich zur Phase II und beschränken sich insbesondere auf die langjährige Brache. In dieser Phase beginnt die Zerstückelung der Landflächen. Auch wenn der Landbesitz in bestimmten Fällen immer noch in kollektiver Hand ist, ist das Land jeder Gemeinschaft schon aufgeteilt, so dass jede Familie über ihre eigenen Felder verfügt, innerhalb derer ihre Mitglieder meistens ein unbegrenztes Bewirtschaftungsrecht haben. Die Landkonflikte zwischen Gemeinschaften dauern an, treten aber auch zwischen Familien innerhalb derselben Gemeinschaft auf. Die Rolle der Frauen in der Durchführung der Feldarbeiten wird ebenso wichtig wie die der Männer. Die Agrarproduktion bleibt ausreichend für den direkten Verbrauch, genügt aber nicht mehr für das Anlegen von Vorräten. Hungersnöte werden häufiger, sind aber immer noch konjunkturell bedingt. Diese Phase entspricht dem Beginn der Auswanderung, die hauptsächlich saisonal erfolgt. Im Einzugsgebiet des oberen Ouémé findet man diese Situation im Dorf Sérrou.

4.4. Phase IV: Strukturelle Ernährungsunsicherheit

Die vierte Phase wird durch die starke Abnahme nicht nur der natürlichen Flächen, sondern auch der Flächen mit langjährigen Brachen und der Weiden charakterisiert. Eine Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen ist nicht mehr möglich. Wenn sie stattfindet, dann nur durch die Bewirtschaftung von marginalen Böden, die bis dahin als unproduktiv betrachtet wurden, oder ganz einfach dank der Verminderung der Brache- und Weideflächen. Die Anbausysteme basieren ausschließlich auf permanentem Ackerbau. Die Degradation der Vegetationsbedeckung und des Bodens gewinnt an Bedeutung und zeichnet sich durch sehr geringe Erträge der Phytomasse und eine starke Bodenerosion aus, die die biologische, chemische und physikalische Bodendegradation verschärft. Buschfeuer verlieren an Bedeutung, da ein großer Teil der Flächen mittels Anbau und Brachen mit kurzer Dauer genutzt wird. Die Landzerstückelung ist weiter fortgeschritten, was die Individualisierung der landwirtschaftlichen Betriebe prägt. Innerhalb jeder „Großfamilie“ besitzt jeder Haushalt seine eigenen Felder. Die Landkonflikte zwischen Gemeinschaften tendieren dazu, wegzufallen, während die Konflikte zwischen Familien anhalten und diejenigen zwischen Individuen (sowohl zwischen Nachbarn als auch zwischen Verwandtschaften) an Bedeutung gewinnen. Die Männer und die jungen Leute verlieren immer mehr das Interesse an den Feldarbeiten. Die Rolle der Frau in der Durchführung der Feldarbeiten wird bedeutender. Die Agrarproduktion reicht weder für die Anlage von Vorräten noch für den täglichen Bedarf aus. Die bis dahin zeitweilig auftretenden Hungersnöte werden zu einem strukturellen Problem. Landflucht und Auswanderung nehmen an Bedeutung zu. Diese Phase ist in der Region des Einzugsgebietes des oberen Ouémé noch nicht anzutreffen, allerdings im Departement Mono im Süden Benins ist sie schon gegenwärtig.

4.5. Phase V: Elend und hydrologische Degradation

In dieser letzten Phase ist eine Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen nicht mehr möglich. Es besteht die Tendenz, dass die gesamte Agrarfläche abnimmt. Bezug nehmend auf eine starke Degradation der Bodenfruchtbarkeit (vor allem der marginalen Böden) geben die Landwirte tatsächlich die Parzellen auf, die

unproduktiv geworden sind, ohne sie aber durch andere ersetzen zu können. Die Böden werden weiterhin permanent ackerbaulich genutzt. Die Degradation der Vegetation und des Bodens wird schwer reparabel. Im Laufe dieser Phase drückt sich die hydrologische Degradierung in einem starken Rückgang der Abflussmenge aus Wasserquellen und Flüssen aus. Wegen der starken Bodenerosion nimmt die Grundwasserneubildung ab, Wasserquellen versiegen. Buschfeuer können nicht mehr auftreten. Die Individualisierung des Landbesitzes überwiegt und die Landzerstückelung erreicht Dimensionen, die technisch und wirtschaftlich nicht mehr lebensfähig sind (0,13 – 0,16 ha/Einwohner in Ruanda). Die Landkonflikte zwischen Individuen kommen am häufigsten vor. Die Agrarproduktion kann bei weitem nicht mehr die Bedürfnisse der Bevölkerung decken. Strukturell bedingte Hungersnöte und chronische Krankheiten charakterisieren diese Phase von Elend und hydrologischer Degradation. Diese Phase ist in Benin noch nicht anzutreffen, kann aber bereits in verschiedenen Regionen Ruandas beobachtet werden.

Tab. 11: Charakteristika der verschiedenen Entwicklungsphasen bezüglich der landwirtschaftlichen Flächen und der Degradierung der natürlichen Ressourcen.

Kriterien	Phase I	Phase II (Doguè)	Phase III (Sérou)	Phase IV (Mono)	Phase V (Rwanda)
	Ökologisches Gleichgewichts	Zusammenbruch ökologisches Gleichgewichts	Ökologische Degradation	Strukturelle Ernährungsunsicherheit	Elend und hydrologische Degradation
1. Erweiterung der Agrarflächen	unbedeutend	sehr bedeutend	bedeutend	unbedeutend oder stagnierend	stagnierend (oder Rückgang)
2. Ursprung neuer bewirtschafteten Böden	Natürliche Vegetationen	Natürliche Vegetationen, langjährige Brache	Langjährige Brache, Weiden, Rest der natürlichen Vegetationen	Marginale Böden, Weiden, kurzjährige Brache	Kurzjährige Brache (Verlassen der degradierten Böden)
3. Anbausysteme	Wanderfeldbau	Hauptsächlich Brachewirtschaft	Hauptsächlich permanenter Ackerbau	Ausschließlich permanenter Ackerbau	Ausschließlich permanenter Ackerbau
4. Degradation der Naturressourcen	Wenige Vegetationsdegradation	Starke Vegetationsdegradation	Starke Vegetations- und Bodendegradation	Sehr starke Vegetations- und Bodendegradation	Nicht umkehrbare Vegetations-, Boden-, Hydrologiedegradation
5. Buschfeuer	wenig wichtig	sehr wichtig	wichtig	unbedeutend	nicht existierend
6. Bodennutzungsrecht	unbeschränkt und kollektiv	unbeschränkt und kollektiv	beschränkt und kollektiv	beschränkt und individuell	beschränkt und individuell
7. Bodenkonflikte	selten	Hauptsächlich zwischen Kollektiven	Zwischen Kollektiven und zwischen Familien	Zwischen Familien und zwischen Familien	Hauptsächlich zwischen Individuen
8. Auswanderung	nicht existierend	unbedeutend	selten und seasonal	wichtig und permanent	sehr wichtig und permanent
9. Rolle der Männern in der Landwirtschaft	sehr bedeutend	sehr bedeutend	bedeutend	unbedeutend	unbedeutend
10. Demographische Tragfähigkeitsbilanz der Böden	nachhaltig	nachhaltig	kritisch	destruktiv	destruktiv
11. Agrarproduktion	ausreichend	ausreichend (seltene und konjunkturelle Hungersnöte)	teilweise ausreichend (wiederkehrend konjunkturelle Hungersnöte)	ungenügend (strukturelle Hungersnöte)	sehr ungenügend (strukturelle Hungersnöte)

4.6. Eine schnellere Degradation von Naturressourcen im oberen Ouémé

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Entwicklungsphasen der landwirtschaftlichen Flächen zeigen unterschiedliche Zukunfts-Szenarien, dass im Bereich des oberen Ouémé die Flächen mit langjährigen Brachen noch vor den naturnahen Flächen verschwinden könnten. Dies ist hauptsächlich auf die Erweiterung der Cashew-Plantagen zurückzuführen, die auf Kosten der Bracheflächen erweitert werden. Darau kann das Risiko erwachsen, dass das Gebiet direkt (d.h. mit nur wenigen Jahren Übergangszeit in Phase III) von der Phase des Zusammenbruchs des ökologischen Gleichgewichtes (Phase II) in die Phase der strukturellen Ernährungsunsicherheit (Phase IV) übergeht. Deshalb drohen in diesem

Fall das Ende der Phase der „ökologischen Degradation“ und der Anfang der Phase der „Ernährungsunsicherheit“ vorzeitig stattzufinden.

5. Anbausysteme und saisonale Niederschlagsvariabilität

Der Bevölkerungsdruck auf das Land stellt einen wichtigen Senkungsfaktor der Biomasseproduktion dar. Unter den derzeitigen Bedingungen der Landnutzung wird die Gesamtbiomasse im oberen Ouémé-Einzugsgebiet, zwischen den Jahren 2000 und 2020 von 59,1 auf 31,5 t ha⁻¹ abnehmen. Bei einer Verkürzung der Regenzeit (z.B. um zwei Wochen am Ende der Regenzeit) wäre somit die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen umso wichtiger. Folglich wird die Gesamtbiomasse in 2020 nur bei 27,0 t ha⁻¹ liegen. Würde dagegen das Bevölkerungswachstum auf 3,0% begrenzt und die Landwirtschaft progressiv intensiviert, dann könnte die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen und die damit verbundene Abnahme der Biomasse (59,1 t ha⁻¹ in 2000 auf 57,4 t ha⁻¹ in 2020) signifikant verlangsamt werden. Die Abnahme der naturnahen Flächen würde bis zum Jahr 2020 eine Nettoemission des Kohlenstoffs von 12,5 t ha⁻¹, 14,9 t ha⁻¹ und 0,6 t ha⁻¹ für die Szenarien Status quo, Pessimist und Optimist verursachen. Im Vergleich zur derzeitigen Landnutzung würde eine Verkürzung der Regenzeit zu einer leichten Zunahme der Kohlenstoffemissionen führen. Eine Intensivierung der Landwirtschaft würde die Kohlenstoffemissionen dagegen stark reduzieren. Man muss allerdings darauf hinweisen, dass die Kohlenstoff-Emissionen, die auf die Buschfeuer zurückzuführen sind, sogar im Falle des optimistischen Szenarios immer eine Bedeutung haben können, wenn es keine Regelung gibt, die die Buschfeuer verbietet.

6. Ernährungslage und Zukunftsperspektiven

Ohne die Ungleichheiten des Nahrungsmittelbedarfs und der Agrarproduktion zwischen Einzelpersonen, Familien und Dörfern zu berücksichtigen, lagen die Deckungsraten des Kalorien- und des Proteinbedarfes im Jahr 2000 bei 120% und 160% im oberen Ouémé-Einzugsgebiet. Die Deckungsrate des Fettbedarfes (56%) zeigt jedoch ein großes Defizit. Im Falle des pessimistischen Szenarios werden der Kalorien-, der Protein- und der Fettbedarf bis zum Jahr 2020 besonders aufgrund der Zunahme der Maisflächen jeweils mit 116%, 150% und 62% gedeckt werden können.

Die Bedeutung der verschiedenen Nutzpflanzen in Bezug auf die Ernährungssicherung ändert sich mit zunehmendem Bevölkerungsdruck je Flächeneinheit. Während Knollenpflanzen die Hauptquelle von Kalorien in wenig besiedelten Dörfern sind, übernehmen Getreide und Hülsenfrüchte diese Rolle in dichtbevölkerten Dörfern. Andere Innovationen in den Anbausystemen ermöglichen den Landwirten des oberen Ouémé-Einzugsgebiets, die demographische Tragfähigkeit der Böden auf die jeweils aktuelle demographische „Last“ anpassen zu können. Langfristig können jedoch die technologischen Agrarforschritte ohne eine effektivere ländliche Entwicklung keinen alleinigen Beitrag zu einer nachhaltigen Lösung des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln leisten.

7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1. Schlussfolgerungen

In Übereinstimmung mit Hypothese 1 führt das Fehlen von angepassten und nachhaltigen Agrartechnologien (Erosionsschutz, Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit) ab dem vierten Nutzungsjahr zu einem schnellen Rückgang der landwirtschaftlichen Produktivität. Die Parzellen werden in Brache umgewandelt, während neue Anbauflächen auf Kosten der natürlichen Flächen angelegt werden (Entwaldung von 2-3% pro Jahr). Außer den Baumwoll- und Yamsanbausystemen, die auf besondere Weise für die Erweiterung der Agrarflächen verantwortlich sind, verstärken die Cashew-Plantagen auch die Abholzung in den Gemeinden, in denen das Bodenrecht noch die unbeschränkte Ausdehnung der Pflanzungen erlaubt.

Ab 2020 wird die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen und die Degradation der Naturressourcen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet in der Phase der „strukturellen Ernährungsunsicherheit“ liegen, wenn keine Maßnahmen getroffen werden, um die Landwirtschaft zu intensivieren und den Bevölkerungsdruck auf den Boden zu reduzieren.

Der Blattflächenindex bleibt ein wichtiger Parameter für verschiedene ökologische Modelle. Jedoch ermöglicht er alleine keine ausreichende Einschätzung über die Degradation der Ökosysteme. Kombiniert man ihn jedoch mit dem spezifischen

Blattgewicht, ist es möglich, seine Treffsicherheit in der Analyse der Ökosysteme und insbesondere in der Schätzung der Nettoprimärproduktion zu erhöhen. Die Nettoprimärproduktion, die durch die Produktion der Blätter erfaßt werden kann, ermöglicht allein angewendet, keine ausreichende Einschätzung des Degradationsgrades verschiedener Ökosysteme.. Zur Bestätigung der Hypothese 5 sollten die Gesamtbiomasse, das Biovolumen und das Ökovolumen herangezogen werden, um die Degradation von Ökosystemen darstellen zu können. Die Gleichungen von BROWN & GASTON (2001) sind dabei für die Bestimmung und Vorhersage der Gesamtbiomasse sehr geeignet.

In Übereinstimmung mit Hypothese 3 wird die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen durch die Biomasseverbrennung und die Beschleunigung des Abbaus organischer Substanz im Boden zur Emissionen vom Kohlenstoff beitragen. Die C-Emissionen wiederum tragen zur globalen Erwärmung bei, die u.a. auch die Zunahme der saisonalen Niederschlagsvariabilität verursacht. Letztere verstärkt ihrerseits die notwendige Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen. Der Kreislauf der gegenseitigen Verstärkung ist damit geschlossen

Basierend auf den verschiedenen Szenarien zeigen die Deckungsraten des Kalorien- und Proteinbedarfes der ortsansässigen Bevölkerung eine Ernährungssicherheit im oberen Ouémé-Einzugsgebiet bis 2020. Das stimmt mit Hypothese 4 überein. Die Deckung des Fettbedarfs bleibt dagegen defizitär (72%). Es scheint, dass die Landwirte mit ausreichendem Ackerland ihre Anbausysteme intuitiv an die Maximierung der Kalorienproduktion anpassen, was zum Teil auch die große Bedeutung des Yamsanbaus erklärt.

Bis 2020 könnten sich die bisher sporadischen Hungersnöte, die besonders durch die Zunahme der saisonalen Niederschlagsvariabilität verursacht werden und zunächst nur einige Dörfern betreffen, auf einen großen Teil des oberen Ouémé-Einzugsgebiets ausweiten, wenn die derzeitigen landwirtschaftlichen Anbausysteme unverändert bleiben. Die Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen, die bisher oft als Strategie im Fall einer saisonalen Niederschlagsanomalie angewendet wurde, könnte durch die Limitierung der Arbeitskräfte beschränkt sein.

7.2. Empfehlungen

1. Um die kontinuierliche Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen reduzieren zu können, müssen geeignete landwirtschaftliche Technologien zu den Landwirten transferiert werden. Diese Technologien betreffen besonders Erosionsschutzmaßnahmen, eine Erschließung der Sumpfgebiete, organische Düngung, Mineraldüngung und verbessertes Saatgut. Allerdings würden diese Technologien schwer von den Landwirten angenommen, wenn die derzeitige Bodenordnung nicht geändert wird, um die Landwirte gesetzlich zu zwingen, ihre Parzellen nachhaltig zu nutzen. Außerdem könnten verbesserte Vermarktungsmöglichkeiten der Agrarprodukte ebenfalls einen wesentlichen Anreiz zur Adoption der neuen Technologien darstellen.
2. Auch wenn im oberen Ouémé-Einzugsgebiet bisher nur wenige landwirtschaftliche Technologien entwickelt wurden, ist es nicht erforderlich, hier dieselben Forschungsarbeiten zu wiederholen, die bereits in anderen Regionen mit ähnlichen Bedingungen durchgeführt wurden. Das Ziel muss sein, alle diese Technologien zusammenzutragen und sie den Landwirten zur Verfügung zu stellen. Folglich sollte sich die Forschung viel mehr an der Agrarberatung beteiligen und sich an der Anwendbarkeit von Methoden in der Praxis orientieren.
3. Die Strukturen der Agrarberatung, die prinzipiell die landwirtschaftliche Produktion technisch und organisatorisch fördern müssten, befassen sich derzeit fast ausschließlich mit dem Baumwollanbau und fehlen in mehreren Dörfern ganz. Um die Agrarberatung verbessern zu können, müssen diese Strukturen mit ausreichenden Mitteln ausgestattet werden. Landwirte ihrerseits sollten sich organisieren, um aktive Partner darzustellen.
4. Um die Ernährungssicherung der zunehmenden Bevölkerung auch bei einer zunehmenden saisonalen Niederschlagsvariabilität gewährleisten zu können, ohne die naturnahe Vegetation weiter abzuholzen, müssen unter anderem die Sumpfgebiete (Bas-fonds), die im oberen Ouémé-Einzugsgebiet ein großes

Potential für die Produktion von Gemüse und Reis darstellen, für die landwirtschaftliche Nutzung erschlossen werden.

5. Das Management der Biomasse bleibt eine der wichtigsten Strategien zur Kohlenstoff-Sequestration im oberen Ouémé-Einzugsgebiet. Von daher sollten alle Nutzer des Landes die nachhaltigen Produktions- und Nutzungstechniken der Biomasseproduktion erlernen.
6. Die Basalfläche, die Gesamtbiomasse, das Biovolumen und Ökovolumen stellen die Hauptparameter zur Untersuchung der Degradation von Ökosystemen dar. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit über die o.g. Parameter sind weitere Untersuchungen sinnvoll, um den Einfluss der Landnutzung auf die klimatischen Änderungen analysieren zu können.
7. Die Einführung eines « modernen » Agroforest-Systems muss auch die traditionellen Baumarten wie Schibutterbaum und « Néré », die schon in traditionellen Anbausystemen mit den Nutzpflanzen assoziiert sind, berücksichtigen. Insbesondere sollte der Schibutterbaum geschützt werden. Obwohl er eine vielfältige Rolle (sozioökonomisch und ökologisch) spielt, ist der Schibutterbaum von einer zunehmenden Abholzung betroffen. Die Förderung, Verarbeitung und Vermarktung der Produkte des Schibutterbaums könnte eine Strategie für die Erhaltung dieser wichtigen Baumart im oberen Ouémé-Einzugsgebiet darstellen.
8. Anstatt die landwirtschaftlichen Daten an die Modelle, die generell die Vielfalt der Anbausysteme nicht berücksichtigen, anzupassen, sollten die Wissenschaftler Modelle entwickeln und anpassen, die sich der technischen und sozioökonomischen Realität des ländlichen Raumes nähern.